

APLIKASI MINIMUM SPANNING TREE ALGORITMA PRIM DAN KRUSKAL PENENTUAN LOKASI PEMBANGUNAN JALAN BARU

Minarwati

Sistem Informasi STMIK El Rahma
e-mail: minarwati@stmikelrahma.ac.id

Abstract

Network analysis can describe a network that must be run in a certain order and is limited by time, one of which is to complete a project. PERT / CPM is a method in network analysis that can be used to solve problems in a work project. Graph is a chapter / discussion in Discrete Mathematics. Graph is a collection of vertices and edges. In the discussion of graph, there is a discussion about trees, it is a graph that is undirected and does not contain circuits. In a tree, it can be determined that the minimum spanning tree / minimum spanning tree is a sub or part of the Graph in the form of a tree and has the same number of nodes as the initial Graph. The road construction project is one of the projects that is suitable for analysis using the spanning tree application in order to obtain the optimal road construction route with the shortest distance between locations. And using PERT / CPM network analysis to get the right order of work so that the work can be completed appropriately both the time used and the costs incurred.

Keywords *Network, Graph, shortest, tree.*

PENDAHULUAN

Analisa Network dapat menggambarkan jaringan kerja yang harus dijalankan dengan urutan tertentu dan dibatasi oleh waktu, salah satunya untuk menyelesaikan suatu proyek.[1;2] Dengan demikian penyimpangan maupun kesalahan yang muncul serta kegiatan yang tidak sesuai dengan rencana dapat dilihat dan dihindari sedini mungkin, sehingga dapat mengurangi resiko yang dapat merugikan dengan melihat apakah kegiatan mengalami keterlambatan yang telah ditentukan. Menggunakan analisa network nantinya dapat mengetahui jangka waktu efektif untuk menyelesaikan tiap-tiap tahap proses pekerjaan sehingga dapat diketahui seberapa besar efisiensi waktu, tenaga kerja, bahan, alat dan biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proyek. PERT/CPM merupakan salah satu metode untuk menjadwalkan dan menganggarkan sumber-sumber daya untuk menyelesaikan suatu proyek pekerjaan.

Graph adalah suatu bab/bahasan didalam Matematika Diskret, Graph merupakan suatu kumpulan dari simpul/*vertex* dan sisi/*edge*. Dalam bahasan Graph terdapat bahasan tentang pohon, adalah Graph tidak berarah dan tidak mengandung sirkuit. Dalam suatu pohon dapat ditentukan pohon merentang minimum/*minimum spanning tree* adalah suatu sub atau bagian dari Graph yang berupa pohon dan mempunyai jumlah simpul sama dengan Graph awal.[3]

Konsep Graph banyak digunakan dalam segala bidang, salah satunya aplikasi pohon merentang minimum yang dapat digunakan untuk menentukan rute optimal pembangunan, misalnya pembangunan jalan, pemasangan instalasi listrik, pemasangan APIL, dan masih banyak lagi yang lainnya.

Proyek pembangunan jalan merupakan salah satu proyek yang cocok di analisa menggunakan aplikasi pohon merentang agar dapat diperoleh rute pembangunan jalan optimal dengan jarak antar lokasi terpendek. Dan menggunakan analisa network PERT/CPM memperoleh urutan pekerjaan yang tepat sehingga pekerjaan dapat diselesaikan dengan tepat baik waktu yang digunakan maupun biaya yang dikeluarkan.

Beberapa penelitian yang sudah dilakukan menggunakan *Analisa Network* diantaranya adalah;

Analisa Network Untuk Produksi Hard Cover A4 Pada PT. Solo Murni Surakarta, Menentukan waktu penyelesaian tiap-tipa pekerjaan yang dibutuhkan PT. Solo Murni menentukan jalur kritis yang digunakan untuk menyusun perencanaan dengan waktu yang efisien dan mengetahui probabilitas penyelesaian produksi menggunakan PERT/CPM.[4]

Teknik Penjadwalan Proses Produksi Batik Motif Kembang Api Dengan Metode PERT dan CPM Pada PT. Batik Semar Surakarta, Mengetahui elemen-elemen kerja, kurun waktu yang dibutuhkan selama proses produksi batik motif kembang api dan mengetahui jalur kritis dalam proses produksi agar diketahui besar waktu penyelesaian.[5]

Analisa Network Perbaikan Jalan Menggunakan Metode Algoritma ES EF dan LS LF Di Temuwuh Kidul Gamping Sleman Yogyakarta. Membahas tentang menentukan urutan proses pekerjaan yang akan dikerjakan dalam perbaikan jalan masuk perumahan Puri Balecatur Asri dan dusun Temuwuh Kidul agar pengerjaannya dapat terjadwal dengan baik sehingga proyek dapat selesai tepat waktu dan tidak terjadi pembengkakan biaya mengingat perbaikan jalan tersebut dibiayai dengan dana swadaya masyarakat.[6]

METODE PENELITIAN

Metode pengumpulan data dilakukan dengan:

a. Metode Dokumentasi

Dokumen-dokumen yang ada dipelajari untuk memperoleh data dan informasi dalam penelitian ini. Dokumen meliputi data dari website pemerintah daerah, website agraria, laporan, literatur dan atau berbagai artikel dari internet atau jurnal yang berhubungan dengan topik penelitian. Dokumen-dokumen tersebut digunakan untuk mendapatkan data sekunder.

b. Metode Eksperimen

Dengan melakukan eksperimen atau serangkaian percobaan terhadap sampel menggunakan software yang digunakan.

Tahap – tahap penelitian :

- a. Melakukan analisis sistem yang sudah berjalan dan melakukan pendefinisian masalah untuk kemudian dirancang sistem metode yang akan digunakan.
- b. Pengumpulan data pendukung dalam memecahkan permasalahan, wawancara dan pengumpulan dokumen yang terkait.
- c. Perancangan Sistem mengolah data dengan langkah awal membuat Graph dari data lokasi suatu daerah yang akan di bangun jalan kemudian menentukan pohon merentang minimum menggunakan algoritma Prim dan Kruskal untuk mendapatkan jarak terpendek antar lokasi. Konsep pembangunan rute jalan menggunakan pohon merentang minimum inilah yang nantinya akan diterapkan dalam pembangunan.
- d. Setelah diperoleh rute pembangunan jalan, maka kemudian akan ditentukan tahap-tahap pembangunan jalan yang menghubungkan antar lokasi tersi tersebut dengan menggunakan PERT/CPM. Sehingga akan diperoleh urutan pengerjaan jalan yang optimal sehingga dapat diperoleh waktu pengerjaan yang optimal dan biaya yang minimal.
- d. Mengimplementasikan Perancangan Sistem dengan software yang relevan dan memenuhi kebutuhan *Association Rule*.
- e. Melakukan pengujian sistem dan melakukan evaluasi kekurangan–kekurangan pada implementasi.

Lokasi Penelitian:

Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Ilmu Komputer El Rahma Jl.
Sisingamangaraja no. 76 Yogyakarta

Rancangan

Tahap 1

Tahap awal dalam pengerjaan adalah dari data yang ada mengenai daerah yang akan dibangun jalan, lokasi-lokasi yang akan dihubungkan dalam daerah tersebut, jarak/panjang, lebar dan estimasi biaya pembangunan antar lokasi dalam hal ini diperhitungkan dalam satuan meter persegi disusun dalam bentuk tabel daerah perbaikan dari suatu lokasi ke lokasi yang lain .

Tabel 1. Tabel Daerah X

Lokasi Asal	Lokasi Tujuan	Jarak	Lebar Jalan	Biaya/Meter Persegi	Biaya
1	2	10 Km	3 M	Rp. 950.000,00	Rp. 2.850.000.000,00
.					
.					
.					

Tahap 2

Selanjutnya di buat konsep rute pembangunan jalan dalam suatu daerah dengan aplikasi *minimum spanning tree* menggunakan algoritma prim dan kruskal sehingga diperoleh rute optimal. Data dari lokasi-lokasi dalam suatu daerah yang akan dibuat konsep rute pembangunan jalan di bentuk sebuah Graph dengan lokasi sebagai simpul/titik dan jarak antar lokasi sebagai sisi. Dari Grap yang sudah terbentuk ditentukan pohon merentang minimum menggunakan algoritma Prim dan Kruskal, dengan langkah-langkah sebagai berikut.

Algoritma Prim

Langkah-langkah:

1. Ambil sisi dari graf G yang berbobot minimum, masukkan ke dalam T .
2. Pilih sisi (u, v) yang mempunyai bobot minimum dan bersisian dengan simpul di T , tetapi (u, v) tidak membentuk sirkuit di T . Masukkan (u, v) ke dalam T .
3. Ulangi langkah 2 sebanyak $n - 2$ kali.

Algoritma Kruskal

0. Sisi-sisi dari graf sudah diurut menaik berdasarkan bobotnya – dari bobot kecil ke bobot besar
 1. T masih kosong
 2. Pilih sisi (u, v) dengan bobot minimum yang tidak membentuk sirkuit di T . Tambahkan (u, v) ke dalam T .
 3. Ulangi langkah 2 sebanyak $n - 1$ kali.

Tahap 3

Selanjutnya dibuat diagram jaringan kerja untuk mengurutkan proses tahap-tahap perbaikan jalan. Diagram jaringan mempunyai dua peranan yaitu sebagai alat perencanaan proyek dan sebagai ilustrasi secara grafik dari kegiatan-kegiatan suatu proyek, oleh karena harus mampu memberi gambaran

1. Hubungan antara komponen-komponen kegiatan secara keseluruhan
2. Arus operasi yang dijalankan sejak awal sampai berakhirnya suatu proyek

Lambang-lambang yang dipakai untuk memberikan keterangan yang jelas mengenai proyek itu :

1. \longrightarrow

Anak panah (arrow) menyatakan kegiatan. Panjang dan arah anak panah tidak mempunyai arti khusus. Pangkal dan ujung menerangkan kegiatan mulai dan berakhir. Pada umumnya kegiatan diberi kode huruf capital A, B,, dst.

2. 

Lingkaran kecil atau node, menyatakan suatu kejadian atau peristiwa. Kejadian diartikan sebagai awal atau akhir dari satu atau beberapa kegiatan. Umumnya diberi kode angka 1, 2,, dst yang disebut nomor kejadian.

3. $-----\rightarrow$

Anak panah terputus-putus, menyatakan kegiatan semu atau dummy. Dummy sebagai pemberitahuan bahwa terjadi perpindahan dari suatu kejadian ke kejadian lain pada saat yang sama. Oleh karena itu dummy tidak memerlukan waktu dan tidak menghabiskan sumber. Panjang dan arah dummy tidak mempunyai arti khusus.

Tahap 4

Melakukan implementasi menggunakan software POM/QM Modul Project Management PERT/CPM

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai contoh diambil data jarak antar ibukota kecamatan dalam wilayah Kabupaten Banjarnegara sebagai berikut

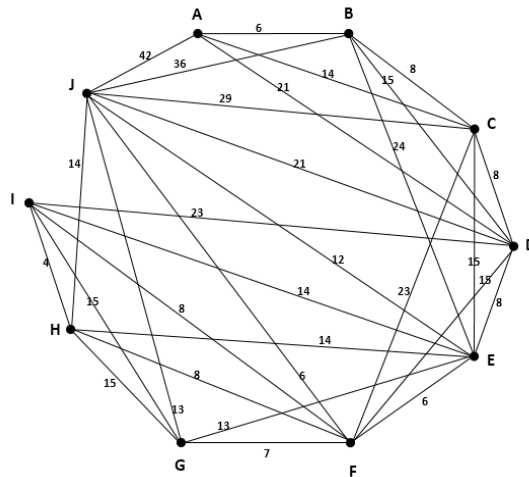
Jarak Antar Ibukota Kecamatan dalam Wilayah Kabupaten Banjarnegara (Km)

Kecamatan	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
Susukan		6	14	21	30	36	43	44	44	42	35	41	41	62	63	70	81	66	83	94	
Purworejo Klp	6		8	15	24	30	34	38	38	36	29	35	34	56	57	64	75	60	77	88	
Mandiraja	14	8		8	15	23	30	31	31	29	21	27	27	49	50	57	68	53	70	81	
Purworegopo	21	15	8		8	15	22	23	23	21	14	20	20	41	42	49	60	45	62	73	
Sawang	30	24	15	8		6	13	14	14	12	8	14	20	32	33	40	51	36	53	64	
Banjarnegara	36	30	23	15	6		7	8	8	6	14	24	20	26	27	34	45	30	47	58	
Pagedongan	43	37	30	22	13	7		15	15	13	21	31	27	33	34	41	52	37	54	65	
Sigituh	44	38	31	23	14	8	15		4	14	22	28	28	34	35	42	53	38	55	66	
Madukara	44	38	31	23	14	8	15	4		14	22	28	28	34	19	42	53	38	55	50	
Banjarmangu	42	36	29	21	12	6	13	14	14		6	18	12	20	33	29	39	24	41	50	
Wanadadi	35	29	21	14	8	14	23	22	22	6		12	6	26	41	34	45	30	47	58	
Rakiti	41	35	27	20	14	24	33	28	28	18	12		18	38	47	46	57	42	59	70	
Punggolan	41	34	27	20	20	20	27	28	28	12	6	18		32	47	40	51	36	53	64	
Karangobar	62	56	49	41	32	26	33	34	34	20	26	38	32		18	8	19	4	21	32	
Pagentan	63	57	50	42	33	27	34	35	35	19	33	43	47	47	18		10	17	22	39	50
Pejawaran	70	64	57	49	40	34	41	42	42	29	34	46	40	8	10		7	12	29	40	
Satur	81	75	68	60	51	45	52	53	53	39	45	57	51	19	17	7		15	32	43	
Wanayasa	66	60	53	45	36	30	37	38	38	24	30	42	36	4	22	12	15		17	28	
Kalibening	83	77	70	62	53	47	54	55	55	41	47	59	53	21	39	29	32	17		11	
Pandanarum	94	88	81	73	64	58	65	66	66	50	50	58	70	64	32	50	40	43	28	11	

Sumber Data : Dinas Pekerjaan Umum Kab. Banjarnegara

Gambar 1. Tabel Jarak Antar Ibukota Kecamatan Kabupaten banjarnegara
 Dari data diatas dilakukan pengolahan data dengan langkah-langkah :

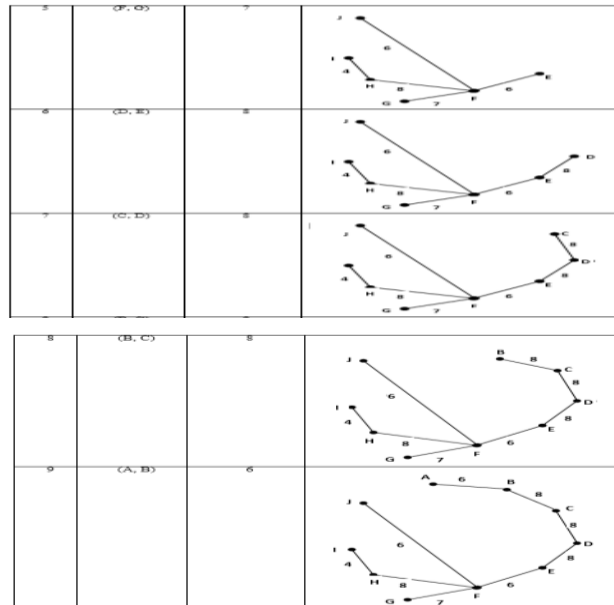
1. Diambil 10 Kecamatan yaitu Susukan, Purworejo Klp, Mandiraja, Purwonegoro, Bawang, Banjarnegara, Pagedongan, Sigaluh, Madukara dan Banjarmangu.
2. Buat permisalan menggunakan huruf atau simbol dari nama-nama kecamatan tersebut, kecamatan Susukan dimisalkan A, kecamatan Puworejo Klp = B, kecamatan Mandiraja = C, kecamatan Purwonegoro = D, kecamatan Bawang = E, kecamatan Banjarnegara = F, kecamatan Pagedongan = G, kecamatan Sigaluh = H, kecamatan Madukara = I, dan kecamatan Banjarmangu = J.
3. Menggambar graph 10 kecamatan terpilih



Gambar 2. Graph 10 Kecamatan Terpilih

4. Membuat pohon merentang minimum menggunakan metode algoritma Prim.

3	{E, F}	6	
4	{F, J}	6	



Gambar 3. Tabel *Minimum Spanning Tree* menggunakan Algoritma Prim

Langkah 1

Dari gambar Graph pilih sisi dengan bobot paling minimal, dipilih sisi (H, I) dengan bobot 4, digambar dikolom pohon merentang minimum.

Langkah 2

Pilih sisi yang bersisian dengan simpul H atau I pada sisi (H, I) yang berbobot paling minimum, pastikan pemilihan tersebut tidak menjadikan sebuah sirkuit, jika pemilihan suatu sisi menghasilkan suatu sirkuit maka dihindari meskipun sisi tersebut berbobot paling minimum. Dipilih sisi (F, H) yang berbobot 8 yg bersisian dengan simpul H pada sisi sebelumnya (H,I). selanjutnya sisi H digambar pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 3

Pilih sisi yang bersisian dengan sisi dengan simpul F atau H atau I dengan bobot paling minimum tetapi tidak menghasilkan suatu sirkuit. Dipilih sisi (E,F) dengan bobot 6 yang bersisian dengan simpul F pada sisi (F, H), selanjutnya digambar pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 4

Pilih sisi yang bersisian dengan sisi dengan simpul E atau F atau H atau I dengan bobot paling minimum tetapi tidak menghasilkan suatu sirkuit. Dipilih sisi (F, J) dengan bobot 6 yang bersisian dengan simpul F pada sisi (E, F) dan (F, H), selanjutnya digambar pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 5

Pilih sisi yang bersisian dengan sisi dengan simpul E atau F atau H atau I atau J dengan bobot paling minimum tetapi tidak menghasilkan suatu sirkuit. Dipilih sisi (G,F) dengan bobot 7 yang bersisian dengan simpul F pada sisi (F, H), selanjutnya digambar pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 6

Pilih sisi yang bersisian dengan sisi dengan simpul E atau F atau G atau H atau I atau J dengan bobot paling minimum tetapi tidak menghasilkan suatu sirkuit. Dipilih sisi (D, E) dengan

bobot 8 yang bersisian dengan simpul E pada sisi (E, F), selanjutnya digambar pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 7

Pilih sisi yang bersisian dengan sisi dengan simpul D atau E atau F atau G atau H atau I atau J dengan bobot paling minimum tetapi tidak menghasilkan suatu sirkuit. Dipilih sisi (C, D) dengan bobot 8 yang bersisian dengan simpul D pada sisi (D, E), selanjutnya digambar pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 8

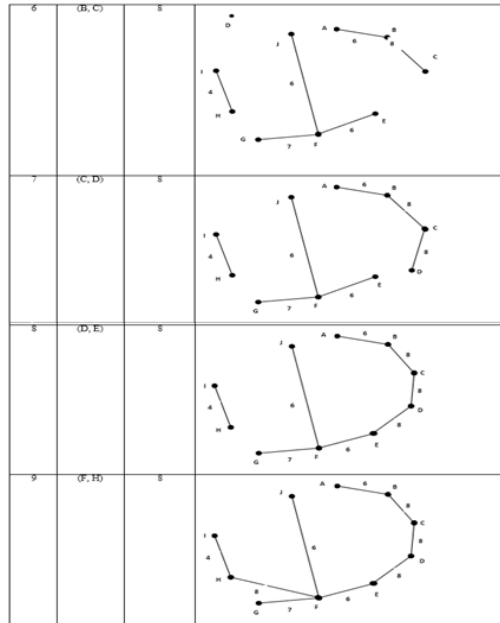
Pilih sisi yang bersisian dengan sisi dengan simpul C atau D atau E atau F atau G atau H atau I atau J dengan bobot paling minimum tetapi tidak menghasilkan suatu sirkuit. Dipilih sisi (B, C) dengan bobot 8 yang bersisian dengan simpul C pada sisi (C, D), selanjutnya digambar pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 9

Pilih sisi yang bersisian dengan sisi dengan simpul A atau C atau D atau E atau F atau G atau H atau I atau J dengan bobot paling minimum tetapi tidak menghasilkan suatu sirkuit. Dipilih sisi (A, B) dengan bobot 6 yang bersisian dengan simpul B pada sisi (B, C), selanjutnya digambar pada kolom pohon merentang minimum.

5. Membuat pohon merentang minimum menggunakan metode algoritma Kruskal

Langkah	Sisi	Bobot	Pohon Merentang Minimum
0			
1	(H, I)	4	
2	(A, B)	6	
3	(E, F)	6	
4	(F, J)	6	
5	(F, G)	7	



Gambar 4. Tabel *Minimum Spanning Tree* menggunakan Algoritma Kruskal

Langkah 0

Identifikasi semua simpul pada Graph, simpul A, B, C, D, E, F, G, H, I, J tulis pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 1

Dari gambar Graph pilih sisi dengan bobot paling minimal, dipilih sisi (H, I) dengan bobot 4, kemudian gambar dikolom pohon merentang minimum. Simpul yang belum terpilih A, B, C, D, E, F, G, J tetap ditulis pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 2

Dari gambar Graph pilih sisi dengan bobot minimal kedua, dipilih sisi (A, B) dengan bobot 6, kemudian gambar dikolom pohon merentang minimum yang sudah h berisi gambar sisi (H, I). Simpul yang belum terpilih C, D, E, F, G, J tetap ditulis pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 3

Dari gambar Graph pilih sisi dengan bobot minimal ketiga, dipilih sisi (E, F) dengan bobot 6, kemudian gambar dikolom pohon merentang minimum yang sudah berisi gambar sisi (A, B) dan (H, I). Simpul yang belum terpilih C, D, G, J tetap ditulis pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 4

Dari gambar Graph pilih sisi dengan bobot minimal keempat, dipilih sisi (F, J) dengan bobot 6 yang bersisian dengan simpul F pada sisi (E, F), kemudian gambar dikolom pohon merentang minimum yang sudah berisi gambar sisi (A, B), (E, F) dan (H, I). Simpul yang belum terpilih C, D, G tetap ditulis pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 5

Dari gambar Graph pilih sisi dengan bobot minimal kelima, dipilih sisi (F, G) dengan bobot 7 yang bersisian dengan simpul F pada sisi (E, F) dan (F, J), kemudian gambar dikolom pohon merentang minimum yang sudah berisi gambar sisi (A, B), (E, F), (F, J) dan (H, I). Simpul yang belum terpilih C, D tetap ditulis pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 6

Dari gambar Graph pilih sisi dengan bobot minimal keenam, dipilih sisi (B, C) dengan bobot 8 yang bersisian dengan simpul B pada sisi (A, B), kemudian gambar dikolom pohon

merentang minimum yang sudah berisi gambar sisi (A, B), (E, F), (F, G), (F, J) dan (H, I). Simpul yang belum terpilih D tetap ditulis pada kolom pohon merentang minimum.

Langkah 7

Dari gambar Graph pilih sisi dengan bobot minimal ketujuh, dipilih sisi (C, D) dengan bobot 8 yang bersisian dengan simpul C pada sisi (B, C), kemudian gambar dikolom pohon merentang minimum yang sudah berisi gambar sisi (A, B), (B, C), (E, F), (F, G), (F, J) dan (H, I). Semua simpul terpilih.

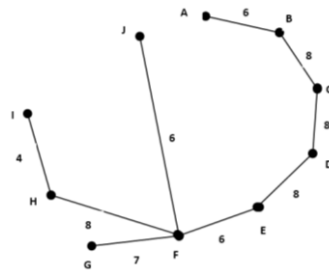
Langkah 8

Dari gambar Graph pilih sisi dengan bobot minimal kedelapan, dipilih sisi (D, E) dengan bobot 8 yang bersisian dengan simpul D pada sisi (C, D) dan simpul E pada sisi (E, F), kemudian gambar dikolom pohon merentang minimum yang sudah berisi gambar sisi (A, B), (B, C), (E, F), (F, G), (F, J) dan (H, I).

Langkah 9

Dari gambar Graph pilih sisi dengan bobot minimal kesembilan, dipilih sisi (F, H) dengan bobot 8 yang bersisian dengan simpul F pada sisi (E, F), (F, G), (F, J) dan simpul H pada sisi (H, I), kemudian gambar dikolom pohon merentang minimum yang sudah berisi gambar sisi (A, B), (B, C), (D, E), (E, F), (F, G), (F, J) dan (H, I).

Dari metode algoritma Prim dan Kruskal diperoleh pohon merentang minimum,

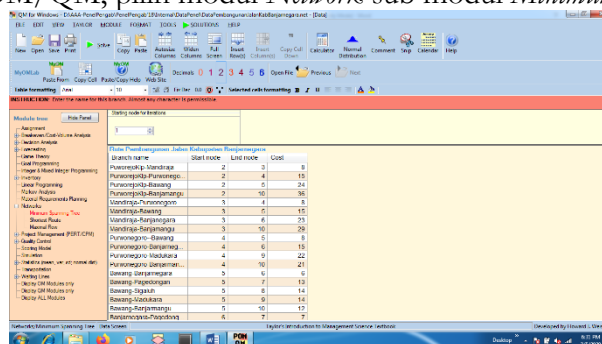


Gambar 5. *Minimum Spanning Tree* menggunakan Algoritma Prim dan Kruskal

Maka jalan yang dibangun Susukan-Purworejo KLP sepanjang 6km, Purworejo KLP-Mandiraja sepanjang 8km, Mandiraja-Purwanegoro sepanjang 8km, Purwonegoro-Bawang sepanjang 8km, Bawang-Banjarnegara sepanjang 6km, Banjarnegara-Pagedongan sepanjang 7km, Banjarnegara-Sigaluh sepanjang 8km, Banjarnegara-Banjarmangu sepanjang 6km, Sigaluh-Madukara sepanjang 4km.

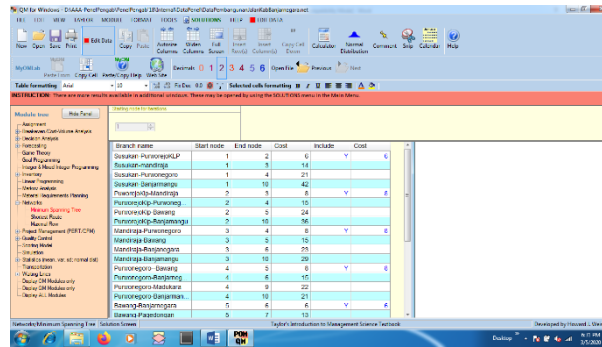
Menggunakan Software POM/QM

Membuka aplikasi POM/QM, pilih modul *Network* sub modul *Minimum Spanning Tree*



Gambar 6. Input Data menggunakan POM/QM

Pada Gambar 6 dilakukan input data dengan mengisikan jumlah node sebanyak 10 (A – J) mengambil 10 daerah dari contoh sumber data. Dengan menuliskan *start node* dan *end node* dari daerah yang saling berelasi lengkap dengan jarak antar daerah tersebut.



Gambar 7. Hasil *Minimum Spanning Tree* menggunakan POM/QM

Pada Gambar 7 diperoleh hasil pohon merentang minimum menggunakan POM/QM dengan rute pembangunan jalan Susukan-Purworejo KLP sepanjang 6km, Purworejo KLP-Mandiraja sepanjang 8km, Mandiraja-Purwanegoro sepanjang 8km, Purwanegoro-Bawang sepanjang 8km, Bawang-Banjarnegara sepanjang 6km, Banjarnegara-Pagedongan sepanjang 7km, Banjarnegara-Sigaluh sepanjang 8km, Banjarnegara-Banjarmangu sepanjang 6km, Sigaluh-Madukara sepanjang 4km.

KESIMPULAN

Menggunakan algoritma Prim dan Kruskal diperoleh pohon merentang minimum dalam menentukan rute pembangunan jalan baru dengan contoh data diambil 10 wilayah kecamatan di Kabupaten Banjarnegara, dan hasil disesuaikan menggunakan Software POM/QM dan memperoleh hasil yang sama.

SARAN

Dalam menentukan rute pembangunan jalan dapat menggunakan metode yang lain dan dapat dibangun software yang sesuai dengan kebutuhan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Hamdy A. Taha, 2002, *Operation Research. An Introduction*, MacMillan, 1992

[2] Marwan A., Pangestu S., T. Hani H., 1983, *Dasar-Dasar Operation Research*, 1993, BPFE, Yogyakarta

[3] Rinaldi Munir, 2003, *Matematika Diskrit*, Informatika, Bandung.

[4] Didit Haryadi, 2009, *Analisis Network* Untuk Produksi Hard Cover A4 Pada PT. Solo Murni Surakarta, Tugas Akhir, FE UNS, Surakarta.

[5] Oktavia Eka Pratiwi, 2010, *Teknik Penjadwalan Proses Produksi Batik Motif Kembang Api Dengan Metode PERT dan CPM Pada PT. Batik Semar Surakarta*, Tugas Akhir, FE UNS, Surakarta.

[6] Minarwati, 2016, *Analisa Network Perbaikan Jalan Menggunakan Metode Algoritma ES EF Dan LS LF Di Temuwuh Kidul Balecatur Gamping Sleman Yogyakarta*, DIPA DIKTI.